

Técnicas digitales para la valoración laringoscópica

S. Fernández González*, N Sánchez Ferrandis*, F. Vázquez de la Iglesia**, J. Rey Martínez*

* Laboratorio de Voz. Departamento ORL. Clínica Universitaria. Facultad de Medicina. Universidad de Navarra

** Servicio de Otorrinolaringología. Hospital Arquitecto-Marcide. Ferrol, La Coruña

Correspondencia:

Secundino Fernández. Laboratorio de Voz. Departamento ORL.

Clínica Universitaria. Facultad de Medicina. Universidad de Navarra.

Apdo. 4209. 31080 Pamplona

(sfgonzalez@unav.es)

Resumen

En 1854 con el descubrimiento del espejito laríngeo por Manuel García, profesor de canto español, nació la laringología como especialidad. Desde entonces han sido numerosos los avances en el terreno de la valoración visual de la dinámica laríngea durante la fonación. En los últimos años la tecnología digital ha permitido no sólo la obtención y registro de imágenes de manera precisa y fiable sino que permite realizar mediciones de fenómenos extremadamente rápidos y delicados, como son el desplazamiento de la mucosa de las cuerdas vocales, los cambios del área glótica durante el ciclo vocal, etc.

Se revisa la historia de la estroboscopia, los protocolos de valoración, las técnicas de la estroboscopia digital y sus posibilidades diagnósticas así como sus limitaciones. Se propone así mismo dos nuevas técnicas que han irrumpido recientemente en el panorama otorrinolaringológico que son la videokimografía digital y la grabación en vídeo de alta velocidad que superan las limitaciones de la estroboscopia y probablemente se convertirán en un medio de exploración rutinario en un futuro próximo.

Palabras clave: Estroboscopia, vídeo de alta velocidad, videoendoscopia, laringe.

Introducción

Cuando el aire procedente de los pulmones pasa a presión a través de la pequeña hendidura que dejan entre sí las cuerdas vocales al aproximarse, se produce un sonido que da origen a la voz. El aire a presión es capaz de hacer ondular la mucosa o superficie de revestimiento de las cuerdas vocales. Al ondular esta mucosa se produce un movimiento de separación y aproximación de la superficie de las cuerdas vocales (ciclo vocal) de manera que ese contacto genera un sonido de una forma parecida al que se genera cada vez que se se aplaude. La sucesión de contactos o ciclos vocales implica la sucesión de la señal sonora cuya frecuencia vendrá dada por la frecuencia de contactos de la mucosa y la intensidad por la presión que conlleva cada ciclo vocal. La frecuencia de estos ciclos vocales puede variar enormemente según se trate de voz de hombre (100-150

Summary

Laryngology was born as a specialty in 1854 when Manuel García, a Spanish singing teacher, invented the laryngeal mirror. Since then, many advances have been made in the area of visual assessment of laryngeal dynamics during phonation. Recently, digital technology has made it possible not only to obtain and record images precisely and reliably, but also to measure extremely rapid and delicate phenomena such as the displacement of the mucosa of the vocal chords, changes in the glottal region during the vocal cycle, and so on.

We review the history of stroboscopy, the assessment protocols, the techniques for digital stroboscopy and their diagnostic potential and limitations. Two new techniques which have recently made an impact are then proposed, namely digital videokimography and high-speed video recording, which overcome the limitations of stroboscopy and may well become routine exploration techniques in the near future.

Kew words: Stroboscopy, high speed video, videoendoscopy, larynx.

ciclos/segundo), voz de mujer (200-270 ciclos/segundo), o de niño (220-280 ciclos/segundo), de voz hablada o cantada, etc. Hoy disponemos de ópticas flexibles, rígidas y videoendoscopios de gran precisión que nos permiten observar con gran detalle las cuerdas vocales. Sin embargo el movimiento de las cuerdas vocales durante la fonación es un fenómeno demasiado rápido para que el ojo humano pueda verlo (el ojo humano puede percibir fenómenos dinámicos de hasta 5 ó 6 imágenes/segundo) o que pueda recogerse por los sistemas habituales de filmación (25-30 imágenes/segundo).

Para poder ver los movimientos ondulatorios de la mucosa de las cuerdas vocales es preciso emplear un sistema de filmación de alta velocidad (2000-4000 imágenes/segundo). Una vez que el fenómeno se filma a esa velocidad se reproduce a la velocidad habitual de los sistemas de vídeo o de cine (25-30 imágenes/segundo) y se ve en cámara lenta. Estos sistemas de

filmación ultrarrápida son muy costosos, requieren unas condiciones de luz extremas y precisan unas exigencias técnicas que hacen que no se puedan utilizar como método de exploración habitual de la dinámica fonatoria.

Bajo determinadas circunstancias es posible prescindir de la filmación ultrarrápida y de todos sus requerimientos fotográficos y de iluminación especial. El movimiento de las cuerdas vocales puede enlentecerse aparentemente e incluso detenerse mediante la ilusión óptica de la estroboscopia (la misma ilusión que hace que las aspas de un ventilador eléctrico parezcan que giren lentamente y en sentido contrario bajo determinadas condiciones de iluminación).

Principios básicos

Cuando una imagen incide en la retina, ésta permanece en ella por un espacio de 0,2 segundos (Ley de Talbot). A esto se le denomina persistencia de imagen en la retina y gracias a este fenómeno podemos ver con continuidad los fotogramas de una película^{14, 15, 16, 17}.

Imaginemos que un fenómeno tan rápido como el de la apertura y cierre de la glotis durante la fonación y que por tanto que no puede ser visto por el ojo humano tiene lugar en un medio sin luz (Figura 1).

Supongamos que la frecuencia de apertura y cierre es de 100 ciclos/segundo y que todos los ciclos son exactamente iguales entre sí^{10, 11, 12}.

Imaginemos ahora que esas cuerdas vocales en movimiento se iluminan repentinamente con un breve destello de luz intensa que tiene una duración de 0,01 segundo. Al observar esto con nuestros ojos o mediante una cámara veremos una imagen precisa de lo que ocurre en ese instante. Debido a la brevedad de la duración del destello de luz o flash la imagen que tendremos de las cuerdas vocales será nítida y no estará afectada por el movimiento. Gracias a la propiedad de la persistencia de las imágenes en la retina la imagen permanecerá en nuestros ojos aproximadamente 0,2 segundos^{18, 19, 20}.

Por último imaginemos que se repiten una serie de destellos o flashes de manera sincrónica a la frecuencia del cierre y

Figura 1. Ciclo vocal, periodo de contacto, periodo de decontacto, fase de contacto, fase de mínimo contacto.

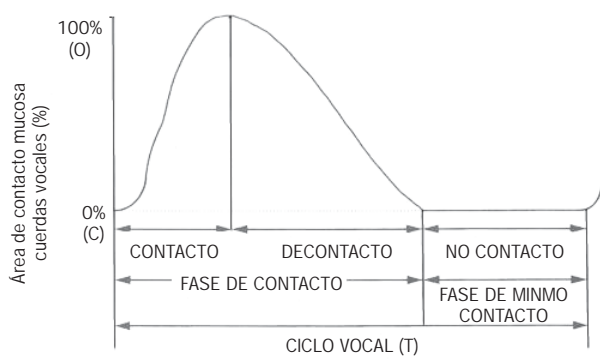
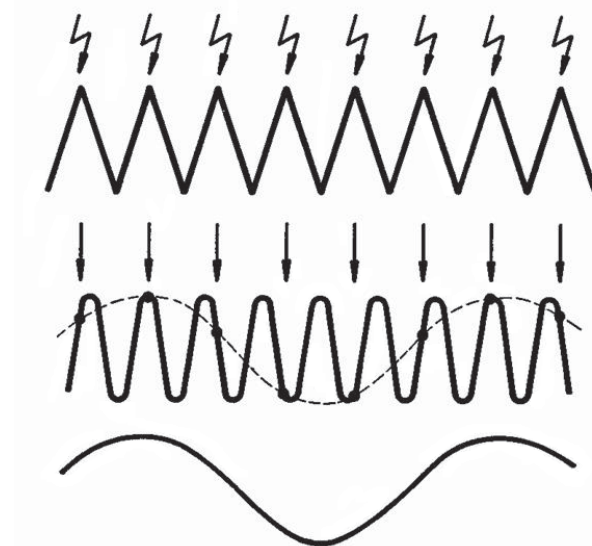


Figura 2. Principio estroboscópico. Modo en movimiento. La frecuencia de disparo del flash estroboscópico es discretamente inferior a la frecuencia fundamental de la fonación. De esta manera es posible visualizar los fenómenos fonatorios a nivel de la mucosa de las cuerdas vocales en cámara lenta.



apertura de las cuerdas vocales, es decir a 100 flashes/segundo. Como la frecuencia de los flashes y la frecuencia de los ciclos vocales coincide y los ciclos vocales son exactamente iguales, cada flash ilumina a las cuerdas vocales en el mismo instante del ciclo vocal. Las cuerdas por tanto siempre mostrarán, para nuestro ojo, la misma posición cuando se iluminan. El ojo humano no puede discriminar flashes de una duración de 0,01 segundo por eso el observador lo que percibe es una iluminación continua y una imagen estática de las cuerdas vocales. La imagen es la de unas cuerdas que se han parado en una posición concreta del ciclo vocal aunque, como es lógico, persistan los fenómenos dinámicos durante la fonación. Esta es la ilusión del fenómeno de la estroboscopia^{10, 11, 13}.

Figura 3. Fases del ciclo vocal obtenidas a partir de una grabación mediante estroboscopia.

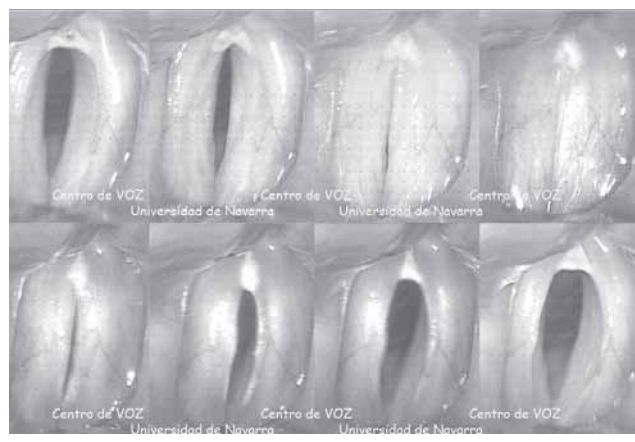
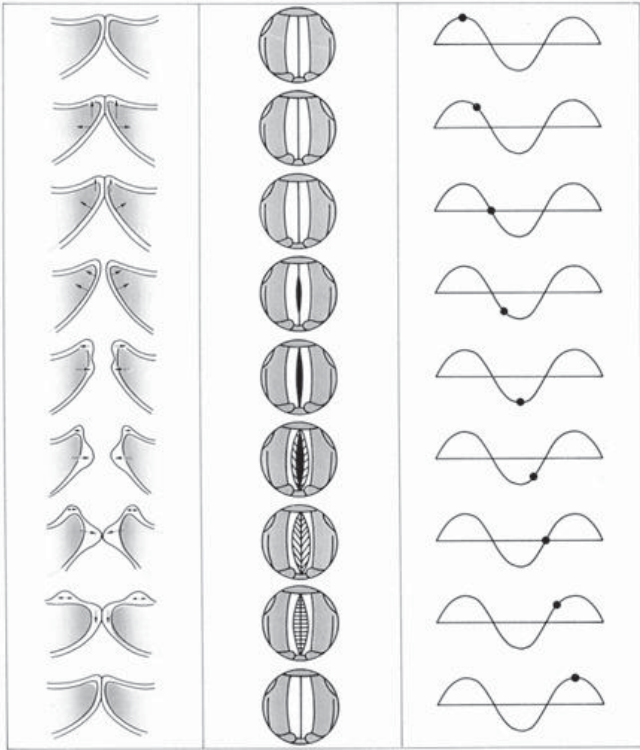


Figura 4. Esquema del ciclo vibratorio de las cuerdas vocales. En la izquierda se representa una sección coronal de las cuerdas vocales a lo largo de un ciclo vocal; En el centro se representa las posiciones de la mucosa durante las distintas fases del ciclo vocal tal y como se observarían en una exploración laringoscópica; En la derecha se representa las correspondientes fases del ciclo vocal en el glotograma.



Continuando con el ejemplo anterior si en lugar de repetirse los destellos o flashes a una frecuencia de 100/segundo la frecuencia es de 99/segundo ya no están sincronizadas las frecuencias de los ciclos vocales 100/segundo ($1/100=0,01$) y la de la fuente de iluminación o flash 99/segundo ($1/99=0,0101$).

Esta desincronización en un ciclo supone que cada flash iluminará un instante de un ciclo vocal con ligero retraso con respecto al ciclo vocal anterior. Así se incrementa progresivamente el desfase entre la frecuencia del flash y la de los ciclos vocales, de manera que la posición que se puede observar con el primer flash no se repite otra vez hasta que no tiene lugar el flash número 101. Hasta entonces se han iluminado 100 posiciones de las cuerdas vocales permitiendo reconstruir con estos fragmentos un ciclo y visualizarlo en cámara lenta (Figuras 2, 3 y 4).

Antecedentes históricos

Desde la antigüedad la idea de observar fenómenos repetitivos y estudiarlos ha despertado el interés de numerosos estudiosos. De acuerdo con D. C. Miller el primero en recoger esta idea fue el poeta Lucrecio (94-55 a. d. C.).

No fue hasta el año 1836 cuando un profesor de física en Bélgica, Joseph Antoine Ferdinand Plateau (1801-83) describió en uno de sus trabajos las leyes de lo que él denominó

“efecto estroboscópico”. En el año 1832 había construido un aparato que denominó *phenakistiscope* o *phantoscope* sobre el que realizó el trabajo experimental para comprobar sus ideas. Casi al mismo tiempo y sin conocer el trabajo de Plateau, Simon Ritter von Stampfer (1792-1864) un matemático vienés describió el principio estroboscópico en otros términos y construyó lo que él denominó *stroboscope* (strobos=turbulencia) o *circu-lar turning viewer*. Posteriormente William George Horne perfeccionó los aparatos de Plateau y Stampfer y denominó su sistema como *zoetrope*, *life turner* o *wonder drum*.

Manuel Patricio García (1805-1906), en 1854 observó por primera vez las cuerdas vocales durante la fonación con el espejito que él mismo ideó. En 1852 E. Harles había estudiado en laringes de cadáver aisladas el mecanismo de la producción de la voz y según Schönhärl también realizó exploraciones estroboscópicas en dichas laringes⁴⁸.

A. Töpler en 1866 creó su *vibroscope* con el que investigó la fonación humana.

En 1877 Emile Reynaud mejoró el *zoetrope* de Horne y creó el *praxinoscope* y en 1878 E. Muybridge filmó sus famosas imágenes del galope de un caballo.

Fue en ese mismo año cuando un médico que trabajaba como internista y laringólogo de Munich llamado Max Joseph Oertel introdujo la estroboscopia en el campo de la laringología humana (Figura 5).

Allbert Musehold realizó las primeras fotografías de las cuerdas vocales en 1898 y Miroslav Seeman introdujo la estroboscopia a la patología de la voz en 1921³¹.

Posteriormente han sido muchos los investigadores y los clínicos que han aportado avances significativos al desarrollo y

Figura 5. Max Joseph Oertel médico internista y laringólogo en Munich que introdujo la estroboscopia en el campo de la laringología humana (1878).



aplicación de la estroboscopia en medicina. Destacan Leo A. Kallen y H. S. Polin que desarrollaron el primer estroboscopio electrónico en 1932; Elimar Schönhärl que publicó su famosa monografía⁴²: "Die Stroboskopie in der praktischen Laryngologie (La estroboscopia en la laringología práctica) y Minoru Hirano y Diane M Bless que en 1993 publicaron la monografía "Videostroboscopic Examination of the Larynx" (El examen videostroboscópico laríngeo)^{10, 11, 12}.

Desde que Oertel en 1878 utilizó por primera vez el procedimiento de interrumpir periódicamente la iluminación para investigar el comportamiento dinámico de las cuerdas vocales, el método conocido como estroboscopia tuvo una escasa aplicación clínica hasta hace muy pocos años. Su incorporación como método habitual de diagnóstico se ha producido gracias al desarrollo de la videoendoscopia. Bernhard Vallancien fue el primero en describir "Stroboscopie et télévision" y se le considera el padre de la videolaringoestroboscopia. Grabando las imágenes es posible su estudio detenido, el análisis y medición de los desplazamientos de los movimientos de la mucosa de las cuerdas vocales, el estudio de cada fase del ciclo vocal y del área de la glotis, la correlación con la onda electroglotográfica y el sonido en tiempo real, etc. De esta manera ha alcanzado el carácter práctico que necesitaba^{31, 48}.

La estroboscopia se ha convertido en uno de los métodos más útiles de los que se dispone para el diagnóstico de los trastornos de la voz, al permitirnos observar con gran precisión y detalle las alteraciones de la ondulación de la mucosa y la situación del borde libre de la cuerda vocal^{37, 38, 39, 43}.

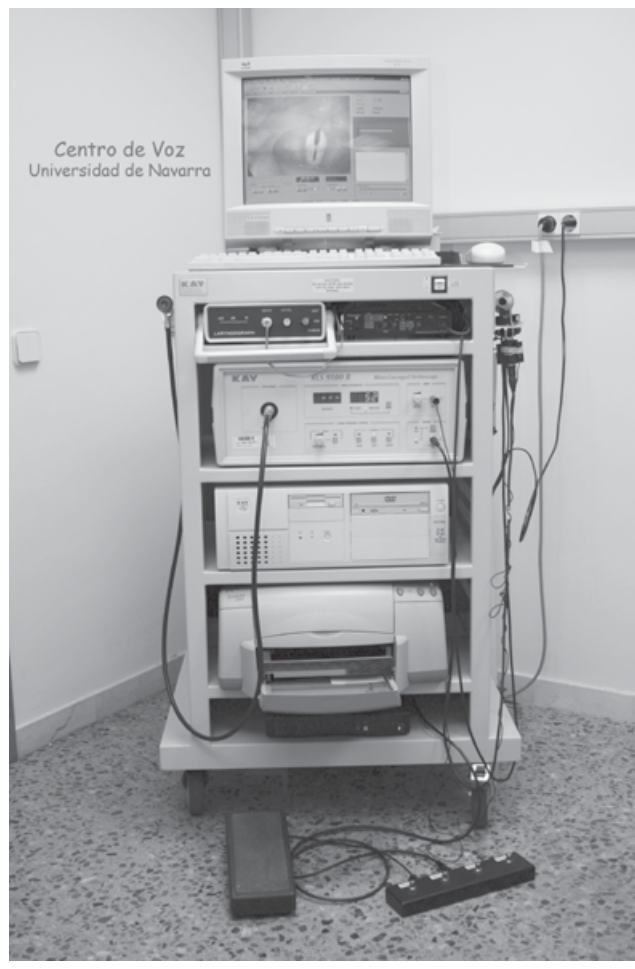
A diferencia de la filmación a alta velocidad y su reproducción a 25 imágenes por segundo, que permite la visión enlentecida del ciclo vibratorio completo, la estroboscopia nos ofrece una imagen compuesta de éste obtenida por la iluminación intermitente de varios ciclos consecutivos. Lo que vemos en realidad es la suma de fragmentos del ciclo vibratorio que difieren ligeramente entre sí y que, presentados consecutivamente, generan la impresión visual de un ciclo completo^{18, 19, 20, 21}.

Equipo

Los equipos de estroboscopia actuales están compuesto por una fuente de luz halógena, una fuente de luz estroboscópica (habitualmente una lámpara de xenón o de cristal de cuarzo), un micrófono de contacto, un sistema de amplificación y de filtrado acústico y un pedal o mando manual que regula la frecuencia y el desfase del disparo del flash con respecto a la frecuencia de la fonación durante la exploración. Con frecuencia se asocia un electroglotógrafo que puede sustituir al micrófono para registrar la frecuencia fundamental de la fonación (Figura 6). Es preferible registrar el valor de la frecuencia fundamental, siempre que sea posible, mediante el electroglotógrafo ya que se evitan muchos artefactos acústicos debidos a la señal acústica recogida por el micrófono^{44, 45, 46, 47}.

La señal frecuencia fundamental recogida por el micrófono o por el electroglotógrafo se convierte en una señal eléctrica que, tratada por el sistema de filtrado, genera una serie de impulsos similar o con un mínimo desfase con respecto a la frecuencia fundamental de la señal acústica, que es la que regula la cadencia del destello de la lámpara estroboscópica. Median-

Figura 6. Equipo de Laringoestroboscopia digital. Rhino-Laryngeal Stroboscope 9100-B de KAY Elemetrics Corp.



te el pedal o el mando de regulación manual se puede seleccionar el modo de actuación para observar el movimiento en cámara lenta o fijar la imagen estática dependiendo del desfase en uno o dos ciclos por debajo de la frecuencia fundamental de la fonación o de la sincronización de la frecuencia del flash y la de la fonación respectivamente.

Actualmente existen numerosos modelos de estroboscopios que satisfacen plenamente los requerimientos necesarios para el estudio de la función laríngea. La mayoría de los estroboscopios disponen de indicadores de la frecuencia fundamental de la fonación, de la intensidad y del grado de desfase. Los equipos que se sincronizan con un electroglotógrafo presentan en la pantalla de registro la imagen estroboscópica y la onda glotográfica, además de la frecuencia fundamental, amplitud y el ángulo de la fase. Este procedimiento permite estudiar las variaciones que se producen en los distintos ciclos en las fases de apertura y cierre^{6, 7, 8, 9}.

La conexión del estroboscopio a un sistema computarizado que permite digitalizar las imágenes de video obtenidas, aporta la capacidad de su análisis detallado mediante los programas

Figura 7. Imágenes correspondientes a varios ciclos vocales normales obtenidos a partir de una exploración estroboscópica de las cuerdas vocales durante la fonación en las que se señala el perímetro de la glotis.

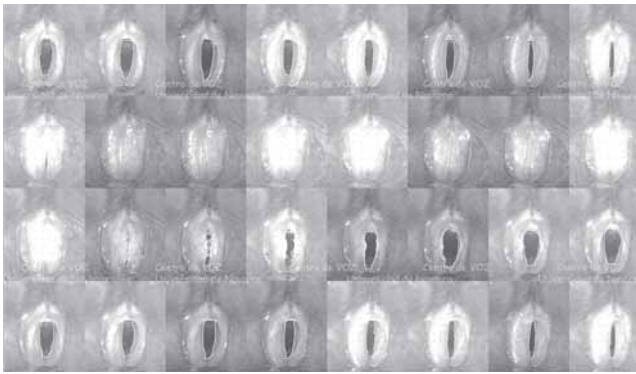


Figura 8. Imágenes correspondientes a varios ciclos vocales normales obtenidos a partir de una exploración estroboscópica de las cuerdas vocales durante la fonación.

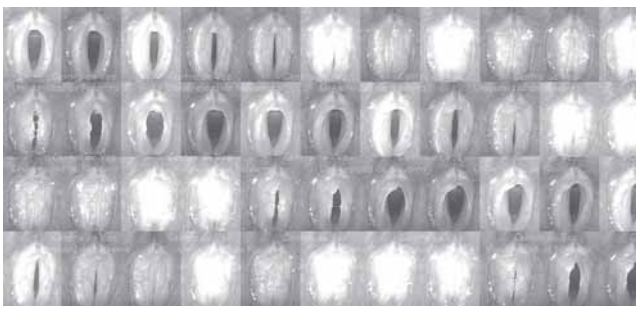
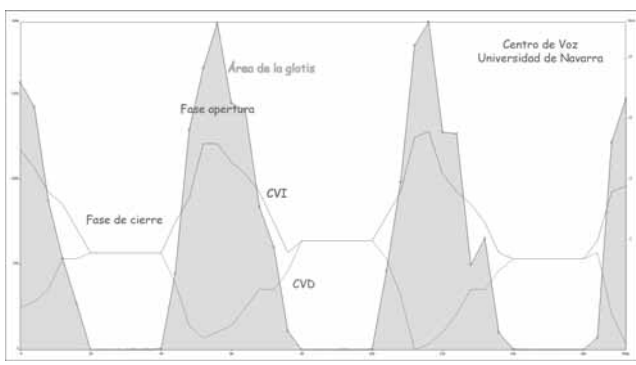


Figura 9. Representación de los cambios de área de la glotis y del desplazamiento de la mucosa de las cuerdas vocales en varios ciclos vocales normales. En amarillo se indica superficie de la glotis correspondiente a tres ciclos vocales. Las líneas rojas y azules corresponden a los desplazamientos de la mucosa de las cuerdas vocales en cada fase del ciclo con respecto a la línea media.



informáticos apropiados. De esta manera es posible descomponer un segmento de la exploración en un número variable de imágenes obtenidas en ciclos fonatorios consecutivos^{22, 23, 24, 25}. En las Figura 7 se muestra una sucesión de imágenes empleadas para el análisis de los datos, cuyos parámetros de obtención pueden, además, modificarse. Así, se pueden realizar cálculos automáticos o semiautomáticos de la relación entre el área y la longitud de la glotis (Figuras 8, y 9) o la amplitud de la ondulación de la mucosa, que además puede analizarse por separado en el tercio anterior, medio o posterior de las cuerdas vocales^{49, 50, 53}. La última generación de sistemas estroboscópicos computarizados permiten que las imágenes se digitalicen y almacenen directamente en el ordenador, manteniendo una extraordinaria calidad. Mediante un programa específico, se consigue la localización rápida de los archivos de las exploraciones, así como la visión simultánea de imágenes de dos exploraciones diferentes o de segmentos distintos de una misma.

En el momento actual los sistemas estroboscópicos computarizados mejoran sustancialmente su eficacia con respecto a los no integrados en sistemas digitales, ya que tanto la calidad de las imágenes como su procesamiento y archivo son superiores. De este modo, es posible almacenar y localizar con rapidez las exploraciones, realizar copias de las imágenes asociarlas a registros del análisis acústico y electroglotográfico, exportar las imágenes y/o los gráficos a otros programas informáticos para su incorporación a un documento, etc. Este tipo de estroboscopios constituye, por tanto, una unidad de diagnóstico e investigación extremadamente precisa y de indudable valor para la docencia.

Aplicación

Indicaciones y límites

De acuerdo con el principio físico de la estroboscopia su aplicación se limita al estudio de fenómenos periódicos o casi periódicos, es decir del componente vibratorio normal y de las alteraciones que en situaciones patológicas lo alteran en un grado que no conlleve la ausencia de un patrón repetitivo o es caótico. Otra de sus limitaciones es la necesidad de disponer de un mínimo de emisión vocal estable de 3 segundos para conseguir sincronizar la frecuencia de dispar del flash con la frecuencia fundamental. No es posible, por tanto, visualizar el inicio de la fonación ni patrones fonatorios que supongan cambios rápidos en la frecuencia de la fonación como los que dan en la conversación o durante el canto. El desfase que supone una frecuencia de dispar del flash mayor que la frecuencia fundamental de la voz conlleva una inversión en el tipo de movimiento de la ondulación de la mucosa de las cuerdas vocales.

En los casos en los que sea difícil mantener una frecuencia fonatoria estable o el trastorno de la voz sea importante se han de interpretar las imágenes obtenidas bajo iluminación estroboscópica con sumo cuidado pues en estas situaciones la ilusión de la estroboscopia puede ser engañosa y no ser válida.

Además, la intensidad de la voz debe ser suficiente como para poder activar el estroboscopio mediante la señal acústica^{3, 4, 5, 30}.

De todas formas su utilización en la clínica puede infor-

marnos no sólo de las circunstancias patológicas del elemento vibrador sino que, indirectamente, permite identificar alteraciones del comportamiento del elemento efector y de la funcionalidad muscular intrínseca y extrínseca. Las indicaciones para su uso como procedimiento diagnóstico son por lo tanto muy amplias. Es el método de elección para la valoración de la mayor parte de la patología que afecta a las cuerdas vocales y en un 15% de los casos de los trastornos de la voz supone el método de diagnóstico definitivo^{26, 27, 35, 36}.

La utilización de la videoestroboscopia es especialmente útil para el estudio de aquellos casos en los que no se aprecian alteraciones orgánicas evidentes ni se identifica claramente la causa de la disfunción. Ante estos el estudio del ciclo vibratorio puede definir desviaciones significativas del patrón de vibración normal que nos permitan realizar el diagnóstico, o aportar datos importantes en relación al tratamiento y al pronóstico.

Estudio estroboscópico

El esquema de estudio estroboscópico que se utiliza habitualmente se basa en el diseñado por M. Hirano (1981) que posteriormente se ha ampliado por el mismo Hirano y D. Bless (1993). Los aspectos a observar que incluyen en su protocolo son:

- Frecuencia fundamental
- Periodicidad
- Análisis de los movimientos verticales y horizontales
- Cierre Glótico
- Simetría de los movimientos bilaterales
- Onda mucosa
- Regularidad de las vibraciones
- Cierre glótico
- Características y grado de la ondulación de la mucosa.

La frecuencia fundamental de la emisión vocal y sus variaciones durante la observación estroboscópica se registra en la pantalla del estroboscopio. Inicialmente la observación debe realizarse sobre el patrón vibratorio del registro fonatorio medio emitido con una frecuencia fundamental e intensidad cómoda, similar a la utilizada en la conversación habitual. En estas circunstancias el ciclo vibratorio se caracteriza por una oclusión completa de la glotis, una fase cerrada de longitud media, una amplitud y grado de ondulación moderados y la regularidad de la ondulación; estas características se utilizan como referencia de normalidad. El examen debe continuar con la valoración durante la emisión de frecuencias altas y bajas para comprobar que el patrón vibratorio en esas circunstancias coincide o no con las características normales de estos dos tipos de fonación. En falsete debemos considerar como normales un cierre incompleto de glotis, una amplitud muy reducida y una ondulación mínima o ausente^{28, 31, 40, 41}.

En la voz de pecho, la fase de cierre es muy prolongada y la ondulación muy evidente. Tener en cuenta las diferentes características de los distintos tipos de fonación y la influencia de la intensidad sobre el patrón vibratorio es obligado para evitar errores de interpretación. En el apéndice I presentamos el protocolo de la valoración estroboscópica que se realiza en el Laboratorio de Voz de la Clínica Universitaria.

Figura 10. Imágenes correspondientes a varios ciclos vocales no normales obtenidos a partir de una exploración estroboscópica de las cuerdas vocales durante la fonación. Se observan ciclos en los que no existe una fase de cierre completo y asimetría en el movimiento de la mucosa de las cuerdas vocales.

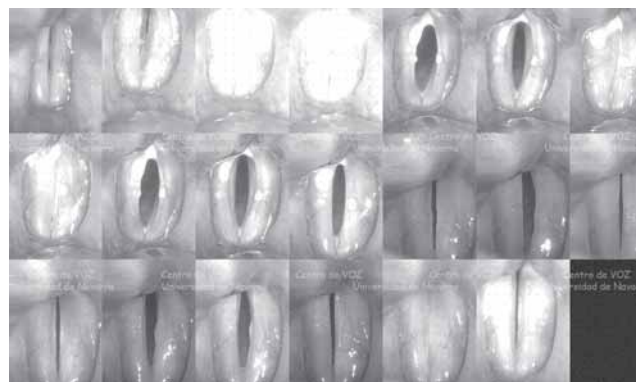
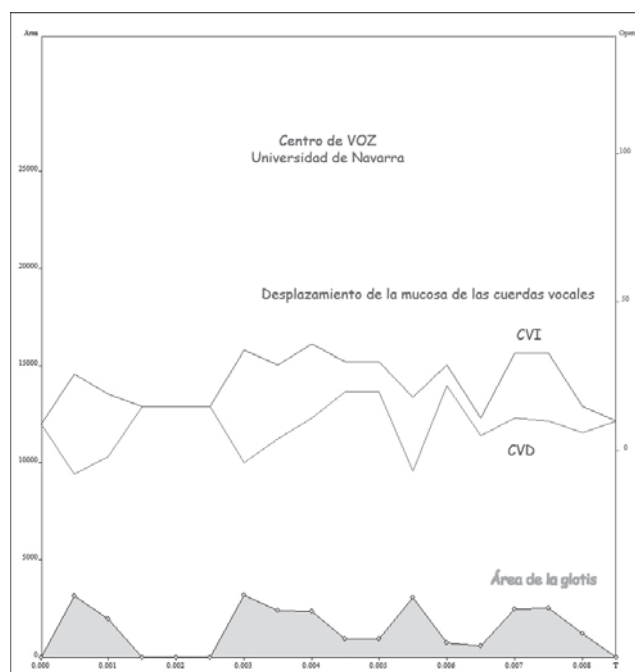


Figura 11. Imágenes correspondientes a varios ciclos vocales no normales obtenidos a partir de una exploración estroboscópica de las cuerdas vocales durante la fonación. Se observan ciclos en los que no existe una fase de cierre completo y asimetría en el movimiento de la mucosa de las cuerdas vocales. En amarillo se indica superficie de la glotis correspondiente a tres ciclos vocales. Las líneas rojas y azules corresponden a los desplazamientos de la mucosa de las cuerdas vocales en cada fase del ciclo con respecto a la línea media.



Principios de interpretación

Cierre glótico

El grado de cierre glótico puede ser incompleto (Figuras 10 y 11) o completo (Figuras 8 y 9); permanente o intermitente.

te. Cuando es debido a un defecto mayor de adducción, puede valorarse sin necesidad de la estroboscopia. Cuando es debido a otras causas, como irregularidad, ausencia o rigidez de mucosa en el borde libre de una o ambas cuerdas, atrofia muscular o masa que impida el cierre, la estroboscopia es obligada bajo los distintos tipos de fonación y grados de intensidad.

Amplitud

El grado de desplazamiento de la onda mucosa con respecto a la línea media de la glotis y el punto de su extinción en el plano horizontal, indican la amplitud del desplazamiento hacia afuera. En las figuras 7 y 9 se aprecia la simetría en el desplazamiento de la onda de ambas cuerdas vocales. Se debe valorar independientemente el desplazamiento en cada cuerda con respecto a la línea media para determinar si existe asimetría en la amplitud, lo que indicaría una diferencia en propiedades mecánicas entre ambas cuerdas vocales.

Asimetría de la fase

Se interpreta que existe asimetría en la fase cuando los bordes libres se sitúan bien en la línea media o en el punto de máxima amplitud de forma asincrónica. Cuando así no ocurre y una cuerda se adelanta o retrasa con respecto a la otra, se considera que concurre una asimetría de la fase (Figuras 10 y 11). La asimetría puede ser constante o intermitente a lo largo de varios ciclos vibratorios.

Ondulación de la mucosa

El grado de ondulación de la mucosa se calcula por la evidencia de la extensión de la onda mucosa desde el borde interno de la cuerda vocal hasta su desaparición en la vertiente superior externa.

Lo que se aprecia es la ondulación de la mucosa a partir del momento en que se produce la separación hacia fuera de la mucosa en cada ciclo vocal, es decir, el desplazamiento horizontal de la misma que comienza después de la acuminación que se observa al terminar la fase vertical en la línea media. La dirección de la emigración de la mucosa hacia afuera puede realizarse de adelante hacia atrás o viceversa.

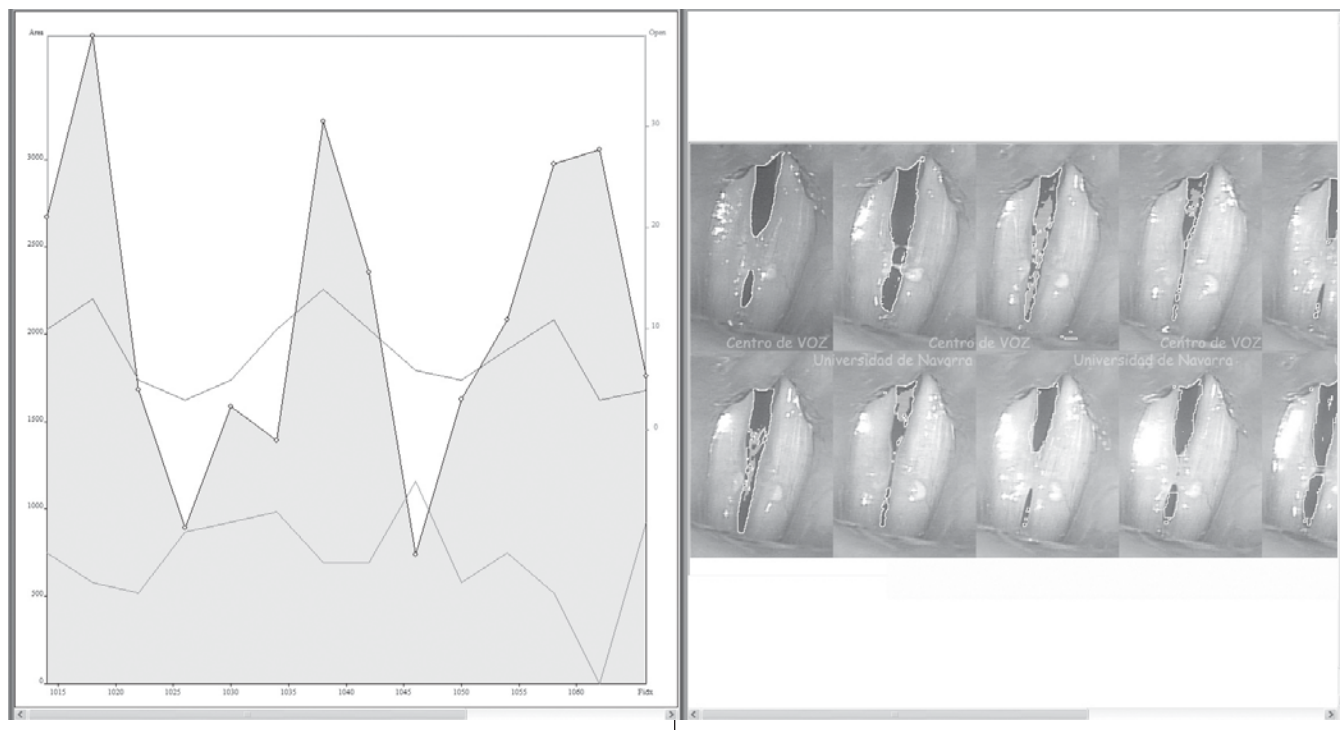
El grado de ondulación depende de la rigidez de la mucosa. Cuando está tensa por una elongación intensa de la cuerda vocal o cuando existe una pérdida de elasticidad de la misma por inflamación, infiltración, fibrosis o sequedad el movimiento ondulatorio se reduce en gran medida.

Ausencia de ondulación

Puede afectar a una cuerda vocal o a ambas, a toda una longitud o a un área concreta de una cuerda vocal, lo cual es debido a inflamación, fijación cicatricial de la mucosa al plano subyacente o a lesiones circunscritas que infiltran en profundidad.

La ausencia de ondulación traduce una alteración severa de la situación del plano de cobertura de la cuerda vocal, lo que en relación a la naturaleza de la lesión puede ser altamente

Figura 12. Imágenes correspondientes a varios ciclos vocales no normales obtenidos a partir de una exploración estroboscópica de las cuerdas vocales durante la fonación y durante la fonación (Nódulos vocales). Se observan que en ningún ciclo existe una fase de cierre completo. Existe asimetría en el movimiento de la mucosa de las cuerdas vocales. En amarillo se indica superficie de la glotis correspondiente a tres ciclos vocales. Las líneas rojas y azules corresponden a los desplazamientos de la mucosa de las cuerdas vocales en cada fase del ciclo con respecto a la línea media.



significativo. Se puede así distinguir entre lesiones del plano de cobertura o de naturaleza infiltrativa.

Regularidad de las vibraciones

La regularidad se determina por la existencia o no de uniformidad de la amplitud o del tiempo durante el cual transcurre el ciclo vibratorio. Se observa bien por la percepción de movimiento durante la iluminación en fase, que nos debería dar una imagen estática por la sincronización con la frecuencia de oscilación o por la diferencia de la duración de la fase de apertura entre unos ciclos vibratorios y otros. Como hemos comentado anteriormente, la regularidad de las vibraciones de la onda mucosa puede también analizarse mediante determinados programas informáticos incorporados al sistema endoscópico (Figuras 8 y 9) y estroboscópico (Figura 12).

Sistemas de medición y análisis

Aunque la estroboscopia nos proporciona un grado de información extraordinaria sobre el comportamiento del ciclo vibratorio y sus alteraciones no deja de ser para muchas de las observaciones un método de valoración subjetivo que puede ser mejorado mediante la aplicación de sistemas que lo complementen.

Para ello se pueden emplear métodos diferentes que se basan en incrementar aún más el enlentecimiento y en la visualización imagen por imagen partiendo de una grabación estroboscópica, lo que permite examinar con mayor precisión los procesos mecánicos que concurren y la obtención de medidas relativas en pixels. El más simple es la utilización de un reproductor de vídeo que haga posible el avance imagen por imagen sin pérdida de definición de detalles. El más complejo se basa en la digitalización de las imágenes estroboscópicas mediante un programa informático de procesamiento de imágenes digitales especial que es capaz de enlentece el movimiento en la medida que deseemos, y seleccionar imágenes estáticas a lo largo de todo el ciclo estroboscópico sobre las que se pueden hacer medidas lineales y angulares intrasujeto que definen las irregularidades del ciclo y las anomalías de la ondulación de la mucosa, así como las dimensiones y angulaciones. Con estas técnicas de manipulación digital del vídeo se pueden observar fenómenos muy sutiles que podrían pasar desapercibidos en una exploración estroboscópica convencional.

Tal y como se utiliza hoy la estroboscopia constituye, junto con la videofibroscopia, un método esencial y rutinario en el diagnóstico de los trastornos de la voz.

No obstante y a pesar de su valor indudable y su validez diagnóstica en una consulta de laringología hay que tener en cuenta que cada día está más próxima la posibilidad de disponer de sistemas de vídeo de alta velocidad que permitirán observar los acontecimientos reales que tienen lugar durante la fonación a nivel de las cuerdas vocales sin limitaciones en lo que a la estabilidad de la frecuencia se refiere o de la periodicidad de la vibración. La implantación de esta nueva tecnología exigirá crear protocolos de actuación y de evaluación de la ingente cantidad de información que puede llegar a suministrar para así poder en la consulta diaria contribuir al mejor diagnóstico posible en cada caso.

Videoendoscopia y videokimografía digital de alta velocidad de la laringe

Ya se ha comentado que los movimientos dinámicos que tienen lugar en la laringe durante la fonación son demasiado rápidos para ser observados por el ojo humano (5 o 6 imágenes por segundo) o recogidos por los sistemas de filmación habituales (25-30 imágenes por segundo).

Habitualmente se emplea la estroboscopia como método para estudiar los fenómenos ondulatorios que tienen lugar en la mucosa de las cuerdas vocales durante la fonación. No obstante, este método es válido siempre y cuando el movimiento sea periódico o cuasiperiódico.

Desde hace unos años se han desarrollado herramientas que permiten la grabación de fenómenos rápidos mediante vídeo de alta velocidad que permiten recoger los movimientos reales que tienen lugar en las cuerdas vocales, así como la velocidad, la aceleración y el tiempo de las distintas fases del ciclo vocal. Además estos procedimientos se pueden realizar sin exigencias técnicas especiales o molestias para los pacientes o los sujetos a estudiar.

La filmación a alta velocidad ha supuesto en muchos campos una herramienta de investigación de gran valor debido a su potencial para presentar fenómenos dinámicos, extremadamente rápidos que no pueden ser captados directamente por el ojo humano ni por las técnicas de fotografía o de filmación habituales.

Uno de estos fenómenos es la fonación.

Se han expuesto las características aplicaciones y limitaciones del método de la estroboscopia aunque es útil desde el punto de vista clínico, tiene limitaciones:

- Exige que los ciclos vocales se correspondan con un fenómeno periódico o cuasiperiódico.
- Exige al menos 3 segundos como mínimo de fonación mantenida para la sincronización del flash estroboscópico.
- No permite el cambio frecuencial en intervalos cortos de tiempo.
- No permite el registro del inicio de los fenómenos vibratorios de las cuerdas vocales.

Estas limitaciones y algunas otras hacen que a la hora de valorar fenómenos dinámicos laringeos, en relación con patología vocal, que se corresponden con disfonías moderadas o severas, no se pueda obtener una imagen representativa en cámara lenta de lo que ocurre realmente a nivel de las cuerdas vocales. Tampoco permite el estudio del inicio de la fonación, ni de algunos otros fenómenos vocales que conlleven señales aperiódicas o cambios de frecuencia bruscos como los que se dan en el canto, la tos, la risa,...

El número de pacientes que no pueden ser valorados mediante los procedimientos tradicionales, en cuanto a la exploración laringea se refiere, suponen aproximadamente un 20%, siendo, en la mayor parte de los casos aquellos pacientes que presentan los fenómenos y los trastornos más complejos desde el punto de vista fonatorio (disfonías severas, parálisis laringeas, profesionales del canto, ...).

Desde hace años existen sistemas de filmación ultra rápida con los que se han realizado importantes estudios desde el punto de vista biológico en lo que se refiere a los fenómenos rápidos. No obstante, en el caso de la laringe durante la fonación

y desde el punto de vista médico, no era posible su aplicación, ya que la complejidad tecnológica y las exigencias de luz que requerían lo hacían impracticable desde el punto de vista técnico y, en muchos casos, estaba contraindicado debido a las lesiones que causaba la necesidad de una fuente de iluminación extremadamente potente, que en muchos casos podía causar lesiones por exceso de calor en la mucosa de la laringe.

En los últimos 15 años se han desarrollado sistemas de vídeo de alta velocidad que permiten grabar a 2.000 o 4.000 imágenes/segundo utilizando cámaras especialmente sensibles, precisas y diseñadas específicamente para este motivo^{32, 33, 34}.

De esta forma se pueden capturar imágenes de una manera mucho más rápida que la propia vibración de las cuerdas vocales y reproducirlas a una velocidad lenta. Así mismo, no existe la limitación que suponía la necesidad de que la señal fuera periódica o cuasiperiódica con lo que fenómenos disfónicos, extremadamente complejos que dependen de mecanismos de dinámica no lineal pueden ser recogidos con gran detalle (Figura 13).

En el momento actual, desde el punto de vista tecnológico, se ha simplificado de manera muy significativa los requerimientos técnicos en cuanto a luz y condiciones se refiere y las cámaras no sólo han ganado en sensibilidad con respecto a la luz sino que nos permiten visualizar imágenes en color y realizar sobre ellas, una vez digitalizadas, todo tipo de mediciones en lo que se refiere a las dimensiones de las cuerdas vocales así como a los fenómenos dinámicos de velocidad y aceleraciones que tienen lugar en el epitelio de las cuerdas vocales.

Los equipos actuales incluyen un software y un sistema informático que permite tratar las imágenes y obtener varias líneas de videokimografía. La técnica de la videokimografía digital permite estudiar de un manera sencilla el comportamiento de puntos muy concretos de la mucosa de las cuerdas vocales y realizar valoraciones dinámicas de tal modo que se pueden conocer los valores de velocidad y aceleración de distintas zonas de la mucosa de las cuerdas vocales en las diferentes fases del ciclo vocal (Figuras 14 y 15).

Tanto la videokimografía como la videoendoscopia de alta

Figura 13. Ejemplo de las fases de un ciclo vocal real grabado con vídeo de alta velocidad.

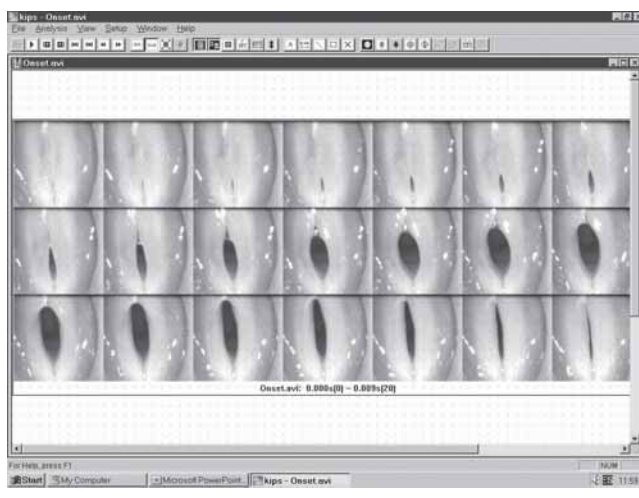


Figura 14. Ejemplo de la valoración mediante cuatro líneas de videokimografía digital en diferentes zonas de las cuerdas vocales durante el ciclo vocal.

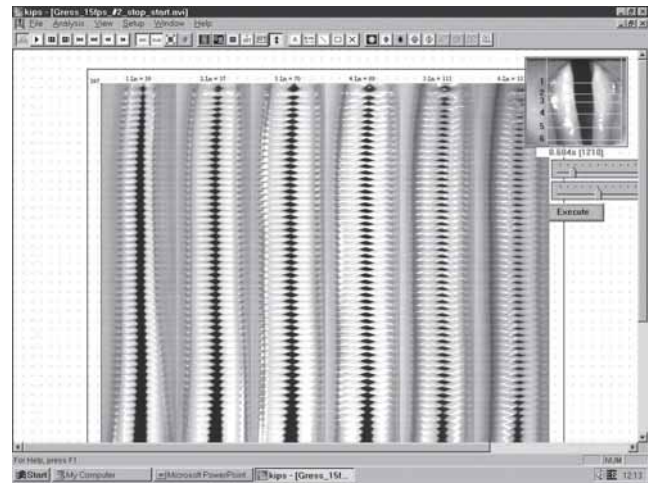
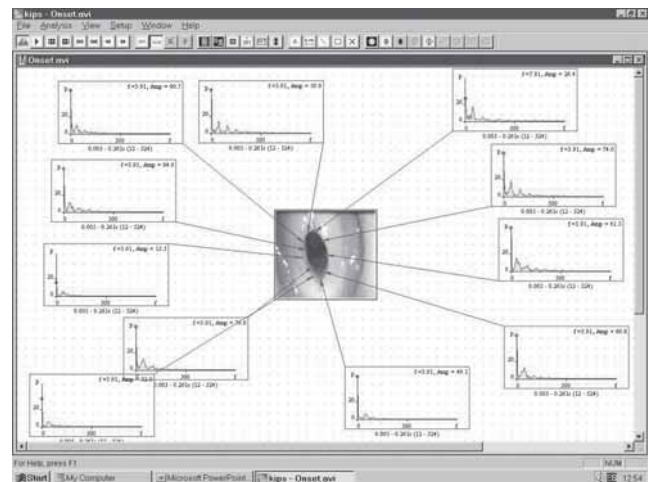


Figura 15. Valoración de las velocidades y aceleraciones de determinados puntos del borde libre de las cuerdas vocales a partir de la imagen digitalizada y con el registro en tiempo real de todas las fases del ciclo vocal



velocidad no precisan un mínimo de tiempo para la estabilización de la señal y no es necesario que ésta sea periódica. Por supuesto perite el registro simultáneo de la señal acústica de la voz y la posibilidad de simultaneizar cualquier tipo de medición aerodinámica fonatoria. Esta será sin duda la dirección que tomen las nuevas técnicas de exploración y valoración de la voz y sus trastornos. Cada día se impondrán métodos más preciso que permitan en tiempo real registrar con absoluta fidelidad y de manera global y simultánea todos los fenómenos dinámicos que tienen lugar durante la fonación. De esta manera y con el desarrollo de procedimientos de medición y análisis automatizado o semiautomatizado que faciliten la valoración de grandes cantidades de datos en un tiempo aceptable, se llegará a la comprensión de la fisiología y fisiopatología de la voz.



Clínica Universitaria

Facultad de Medicina
Universidad de Navarra

Departamento de Otorrinolaringología
Laboratorio de Voz

Valoración Estroboscópica

D/Dña. _____

Hª. Cª.: _____ Fecha: ____/____/____

Dr.: _____ Reg: _____

Jª Cª.: _____

Borde CV	Liso/Recto			Rugoso/Irregular			F0: _____ SPL: _____	
	D	1	2	3	4	5	Calidad vocal: _____	
	I	1	2	3	4	5		
Cierre Glotis		Completo	Defecto Ant.	Irregular	Arqueado	Defecto Post.	Reloj de arena	Incompleto
		Predominio de fase abierta (cuchicheo)			Normal	Predominio de fase cerrada (hiperaducción)		
Fase de Cierre		1	2	3	4	5		
Nivel vertical CV Aprox.		Igual	D. inferior		I. inferior		Dudoso	
		1	2	3	4	5		
Amplitud		Normal	Ligeramente Disminuida	Moderadamente Disminuida	Severamente Disminuida	No existe movimiento		
	D	1	2	3	4	5		
	I	1	2	3	4	5		
Onda Mucosa		Normal	Ligeramente Disminuida	Moderadamente Disminuida	Severamente Disminuida	No existe movimiento		
	D	1	2	3	4	5		
	I	1	2	3	4	5		
Comportamiento vibratorio		Completo siempre	Ausencia parcial a veces	Ausencia parcial siempre	Ausencia completa a veces	Ausente completo siempre		
	D	1	2	3	4	5		
	I	1	2	3	4	5		
Simetría de Fase		Regular	A veces irregular	Casi siempre irregular	Siempre irregular			
		1	2	3	4			
Periodicidad/Regularidad		Regular	A veces irregular	Casi siempre irregular	Siempre irregular			
		1	2	3	4			
Bandas ventriculares:		Simetría del movimiento: 1. D>I			1. I>D		3. Igual	
Movimiento:		Normal	Ligera compres.	Moderada compres.	Cierre completo			
		1	2	3	4			
Aritenoides:		Simetría del movimiento: 1. D>I			1. I>D		3. Igual	
Movimiento:		Normal	Amplio		Pobre			
		1	2		3			
Hiperfunción:		1. No presente			2. Presente a veces		3. Siempre presente	

Firma: _____

Bibliografía

- Colton RH, Caspe JK, Brewer DW & Conture EG. «Digital processing of laryngeal images: A preliminary report.» *Journal of Voice*, Vol. 3 (2), 1989, pp. 132-142.
- Colton RH, Woo P, Brewer DW, Griffin B. & Casper J. «Stroboscopic signs associated with benign lesions of the vocal folds.» *Journal of Voice*, Vol. 9 (3), 1995, pp. 312-325.
- Cornut G, Bouchayer M & Parent F. «Value of videostroboscopy in indicating phonosurgery.» *Acta Otorhinolaryngologica* (Belgium), Vol. 40 (2), 1986, pp. 436-442.
- Croft TA. «Failure of visual estimation of motion under strobe.» *Nature*, Vol. 231 (302), 1971, p. 397.
- Elias ME, Sataloff RT, Rosen DC, Heuer RJ & Spiegel JR. «Normal stroboscopy: Variability in healthy singers.» *Journal of Voice*, Vol. 11 (1), 1995, pp. 104-107.
- Faure MA & Muller A. «Stroboscopy.» *Journal of Voice*, Vol. 6 (2), 1992, pp. 139-148.
- Gelfer PM, Andrews ML & Schmidt CP. «Documenting laryngeal change following prolonged loud reading: A videostroboscopic study.» *Journal of Voice*, Vol. 10 (4), 1995, pp. 368-377.
- Gelfer PM. & Bultemeyer DK. «Evaluation of vocal fold vibratory patterns in normal voices.» *Journal of Voice*, Vol. 4, 1990, pp. 335-345.
- Hirano M. *Clinical Examination of Voice*. New York: Springer-Verlag, 1981.
- Hirano M «Objective evaluation of the human voice: Clinical aspects.» *Folia Phoniatrica*, Vol. 41, 1989, pp. 89-144.
- Hirano M & Bless, D.M. *Videostroboscopic Evaluation of the Larynx*. San Diego: Singular Publishing Group Inc., 1992.
- Hirano M & Bless, D.M. *Videostroboscopic Examination of the Larynx*. San Diego: Singular Publishing Group Inc., 1993.
- Hirano M, Gould WJ, Lambaise A & Kakita Y. «Vibratory behavior of the vocal folds in a case with a unilateral polyp.» *Folia Phoniatrica*, Vol. 33, 1981, pp. 275-284.
- Hirano M & Hartmann HG. «Aspects of videostroboscopy in practice.» *Proceedings of the 20th IALP Congress, Tokyo: The Organizing Committee of the XXth Congress of the International Association of Logopedics and Phoniatrics*, 1986, p. 402.
- Hirano M & Kakita Y. «Cover-body theory of vocal fold vibration.» *Speech Science*. ed. R.G. Daniloff, San Diego, California: College-Hill Press, 1985, pp. 1-46.
- Hirano M, Nozoe I, Shin T. & Maeyama T. «Vibration of the vocal cords with recurrent laryngeal nerve palsy. A stroboscopic investigation.» *Practica Oto Rhino Laryngologica*, Vol. 65, 1972, pp. 1037-1047.
- Hirano M, Yoshida Y, Yoshida T. & Tateishi O. «Stroboscopic video recording of vocal fold vibration.» *Annals of Otolaryngology and Rhinology*, Vol. 91, 1987, pp. 354-358.
- Hirose H. «High-speed digital imaging of vocal fold vibration.» *Acta Oto-Laryngologica* (Stockholm), Vol. 458, 1988, pp. 151-153.
- Husson R. «Principal facts of vocal physiology and pathology gained by laryngostroboscopy.» *Reviews of Laryngology, Otolaryngology and Rhinology* (Bord), Vol. 57, 1980, pp. 1132-1145.
- Izdebski K, Ross JC & Klein JC. «Transoral rigid laryngovideostroboscopy (phonoscopy).» *Seminars in Speech and Language*, Vol. 1, 1990, pp. 16-26.
- Karnell MP. «Synchronized videostroboscopy and electroglottography.» *Journal of Voice*, Vol. 3 (1), 1989, pp. 68-75.
- Kitajima K. «Airflow study of pathologic larynges using a hot-wired flowmeter.» *Annals of Otolaryngology and Rhinology*, Vol. 94, 1985, pp. 195-197.
- Kitzing P. «Stroboscopy-a pertinent laryngological examination.» *The Journal of Otolaryngology*, Vol. 14 (3), June 1985, pp. 151-157.
- Koike Y. «Quantitative measures of stroboscopic images of the larynx.» Paper presented at the Fifth Vocal Fold Physiology Conference, Tokyo, January, 1987.
- Mareev VM & Papshitsky YA. «Stroboscopy in hyperplastic and tumor processes of the larynx.» *Vestn Otorinolaringol*, Vol. 34, 1972, pp. 71-75.
- Milutinovic Z. «Indirect microsurgery of the vocal folds - videostroboscopy vs. microstroboscopy.» *Ear, Nose and Throat Journal*, Vol. 72 (2), 1993, pp. 134-141.
- Minnigerode B. «The defiguration phenomenon in motion perception and its effect on stroboscopic laryngoscopy.» *Laryngol. Rhinol. Otol.* (Stuttgart), Vol. 101, 1967, pp. 33-38.
- Moore DM, Berle S, Hanson DG. & Ward PH. «Videostroboscopy of the canine larynx: The effects of asymmetric laryngeal tension.» *Laryngoscope*, Vol. 97 (5), 1987, pp. 543-553.
- Moore DM. & von Leden H. «Dynamic variations of the vibratory pattern in the normal larynx.» *Folia Phoniatrica*, Vol. 10, 1958, pp. 205-238.
- Moore P. «Voice: A historical perspective. A short history of laryngeal investigation.» *Journal of Voice*, Vol. 5 (3), 1991, pp. 266-281.
- Morrison MD. «A clinical voice laboratory, videotape and stroboscopic instrumentation.» *Otolaryngology Head and Neck Surgery*, Vol. 92, 1984, pp. 487-488.
- Omori K, Kacker A, Slavik DH. & Blaugrund SM. «Quantitative videostroboscopic measurement of glottal gap and vocal function: An analysis of thyroplasty type I.» *Annals of Otolaryngology and Rhinology*, Vol. 105 (4), April 1996, pp. 280-285.
- Pemberton C, Russell A, Priestley J, Havas T, Hooper J. & Clark P. «Characteristics of normal larynges under flexible fiberoptic and stroboscopic examination: An Australian perspective.» *Journal of Voice*, Vol. 7 (4), 1993, pp. 382-389.
- Peppard RC. & Bless DM. «A method for improving measurement reliability in laryngeal videostroboscopy.» *Journal of Voice*, Vol. 4 (3), 1990, pp. 280-285.
- Peppard RC. & Bless DM. «The use of topical anesthetic in videostroboscopic examination of the larynx.» *Journal of Voice*, Vol. 5 (1), 1991, pp. 57-63.
- Powell LS. «Laryngostroboscope.» *Archives of Otolaryngology*, Vol. 19, June 1934, pp. 708-710.
- Prytz S. «Laryngeal videostroboscopy.» *Ear, Nose and Throat Journal* (Suppl. ENTechology), 1987, p. 34-41.
- Raes J, Lebrun Y & Clement P. «Videostroboscopy of the larynx.» *Acta Otorhinolaryngologica* Belgium, Vol. 40, 1986, pp. 421-425.
- Sataloff RT, Spiegel JR, Carroll LM, Schiebel BR, Darby KS. & Rulnick RK. «Stroboscopy in professional voice users: Results and clinical value.» *Journal of Voice*, Vol. 1 (4), 1987, pp. 359-364.
- Sataloff RT, Spiegel JR. & Hawkshaw MJ. «Stroboscopy: Results and clinical value.» *Annals of Otolaryngology and Rhinology*, Vol. 100 (9), September 1991, pp. 725-727.
- Schonharl E. «New stroboscope with automatic regulation of frequency and recent results of its application to study of vocal cord vibrations in dysphonias of various origins.» *Reviews of Laryngology*, Vol. 77, 1956, pp. 476-481.
- Sercarz JA, Berke JS, Gerratt BR, Kreiman J, Ming Y & Navidad M. «Synchronizing videostroboscopic images of human laryngeal vibration with physiological signals.» *American Journal of Otolaryngology*, Vol. 13, 1992, pp. 40-44.
- Sercarz JA, Berke JS, Ming Y, Gerratt BR & Navidad M. «Videostroboscopy of human vocal fold paralysis.» *Annals of Otolaryngology and Rhinology*, Vol. 101, 1992, pp. 567-577.
- Smith ME, Ramig LO, Dromey C, Perez KS. & Samandari R. «Intensive voice treatment in Parkinson disease: Laryngostroboscopic findings.» *Journal of Voice*, Vol. 9 (4), 1995, pp. 453-459.
- Södersten M. & Lindestad PA. «A comparison of vocal fold closure

- in rigid telescopic and flexible fiberoptic laryngostroboscopy.» *Acta Oto-Laryngologica* (Stockholm), Vol. 112, 1992, pp. 144-150.
47. Sulter AM, Schutte HK. & Miller DG. «Standardized laryngeal videostroboscopic rating: Differences between untrained and trained male and female subjects, and effects of varying sound intensity, fundamental frequency, and age.» *Journal of Voice*, Vol. 10 (2), 1995, pp.175-189.
 48. García-Tapia R and Cobeta I. Diagnostico Y Tratamiento de los Trastornos de la Voz. Madrid, Spain: ADS Printing, October 1996.
 49. Wendler J. «Stroboscopy.» *Journal of Voice*, Vol. 6 (2), 1992, pp. 149-154
 50. Woo P. «Quantification of videostroboscopic findingsÑMeasurements of the normal glottal cycle.» *Laryngoscope*, Vol. 106 (3) Part 2, March 1996.
 51. persistent dysphonia after laryngeal surgery: A retrospective analysis of 62 patients.» *Laryngoscope*, Vol. 104, September 1994, pp. 1084-1091.
 52. Woo P, Colton R, Casper J & Brewer D. «Diagnostic value of stroboscopic examination in hoarse patients.» *Journal of Voice*, Vol. 5 (3), 1991, pp. 231-238.